



SENSOR NETWORK (SN) POWER CONSUMPTION SAVING AND CONTROL

- Techniques of power consumption decreasing for SN node microcontrollers (MC)
- MC power consumption control. Tools



ENERGY EFFICIENT SN-BASED FOREST MONITORING SYSTEM

- Application of SN in monitoring systems
- Development of energy efficient SN
- Application of Tool «Test Polygon»



ENERGY EFFICIENCY OF DELAY TOLERANT NETWORKS (DTN)

- Assessment of information and energy resources of DTN
- Development trends of efficient DNT



SOFTWARE DEVELOPMENT FOR ENERGY EFFICIENT INDUSTRY MICROCONTROLLER SYSTEMS

- Technique and tool for SW development



University of Ioannina



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



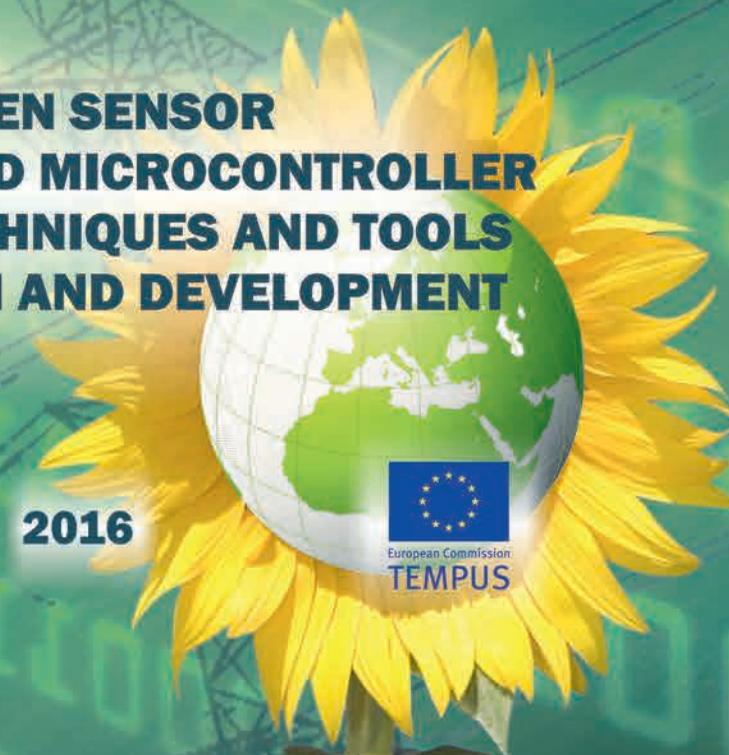
ЗЕЛЕНІ СЕНСОРНІ СІТІ І МІКРОКОНТРОЛЕРНІ СИСТЕМИ. МЕТОДИ І СРЕДСТВА ІССЛЕДОВАНИЯ І РАЗРАБОТКИ

Тренинг-курс

GREEN SENSOR NETWORKS AND MICROCONTROLLER SYSTEMS. TECHNIQUES AND TOOLS OF RESEARCH AND DEVELOPMENT



2016



**Министерство образования и науки Украины
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»**

**А.А. Коваленко, В.В. Лукашенко, А.П. Плахтеев,
П.А. Плахтеев, А.А. Орехов, В.С. Харченко, А.А. Шамраев,
Е.О. Шамраева**

**Зеленые сенсорные сети и микроконтроллерные
системы. Методы и средства исследования и
разработки**

Тренинг

Под редакцией В.С. Харченко

**Green Sensor Networks and Microcontroller
Systems. Techniques and Tools
of Research and Development**

Training

**Проект
530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR
*Green Computing & Communication***

2016

УДК004.9+681.5

3-48

Викладено матеріали тренінг-курсу LLL2 "Techniques and Tools for Green Industry Systems and Networks", розробленого в рамках проекту TEMPUS «Green Computing & Communication» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Курс базується на методичних та інструментальних засобах, призначених для оволодіння практичними навичками розроблення та дослідження енергоефективних мікроконтролерних систем, сенсорних мереж, а також мереж, толерантних до затримок (Delay Tolerant Network). Надано опис лабораторних робіт і тренінгів, які виконуються з використанням спеціальних програмно-апаратних засобів.

Для інженерів, які займаються розробленням та впровадженням енергоефективних мікропроцесорних систем і мереж, магістрів і аспірантів університетів, які навчаються за напрямками комп'ютерних наук, комп'ютерної та програмної інженерії, при вивченні та дослідженні методів і засобів зеленої IT-інженерії.

Рецензенти: Мохор Владимир Владимирович, директор Института проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова Национальной Академии наук Украины, доктор технических наук, профессор;

Elena Zaitseva, Dr, Professor, Faculty of Management Science and Informatics University of Zilina, Slovakia.

3-48 Зеленые сенсорные сети и микроконтроллерные системы. Методы и средства исследования и разработки Тренинг. / Коваленко А.А., Лукашенко В.В., Плахтеев А.П., Плахтеев П.А., Орехов А.А., Харченко В.С., Шамраев А.А., Шамраева Е.О. / Под ред. Харченко В.С. – Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Харьков. – 2016. – 160 с.

ISBN 978-966-662-718-9

Изложены материалы тренинг-курса LLL2 «Techniques and Tools for Green Industry Systems and Networks», разработанного в рамках проекта TEMPUS "Green Computing & Communication" (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Курс базируется на методических и инструментальных средствах, направленных на овладение практическими навыками разработки и исследования энергоеффективных микроконтроллерных систем, сенсорных сетей, а также сетей, толерантных к задержкам (Delay Tolerant Network). Представлено описание лабораторных работ и тренингов, которые выполняются с использованием специальных программно-аппаратных средств.

Для инженеров, которые занимаются разработкой и внедрением энергoeffективных микропроцессорных систем и сетей, магистров и аспирантов университетов, которые учатся по направлениям компьютерных наук, компьютерной и программной инженерии, при изучении и исследовании методов и средств зеленой IT-инженерии.

Библ. – 50 наименований, рисунков – 61, таблиц – 20.

Утверждено на заседании ученого совета Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» (протокол №1 от 2 сентября 2015 г).

ISBN 978-966-662-718-9

УДК004.9+681.5

© Коваленко А.А., Лукашенко В.В., Плахтеев А.П., Плахтеев П.А., Орехов А.А., Харченко В.С., Шамраев А.А., Шамраева Е.О.

© Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2016

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

КНД – коэффициент направленного действия

КУ – коэффициент усиления

КМУ – коммутационный узел

НСМ – наземные системы мониторинга

ПК – персональный компьютер

СС – сенсорные сети

ФАПЧ – фазовая автоподстройка частоты

DTN – Delay Tolerant Network (сети, нечувствительные к задержкам)

ACLK – Auxiliary Clock (вспомогательное тактирование)

ADC – Analog-to-Digital Converter (аналого-цифровой преобразователь, АЦП);

DAC – Digital-to-Analog Converter (цифро-аналоговый преобразователь, ЦАП);

DCO – Digitally Controlled Oscillator (осциллятор с цифровым управлением);

GIE – General Interrupt Enable (общее разрешение прерываний);

ISR – Interrupt Service Routine (процедура обработки прерывания);

LPM – Low-Power Mode (режим пониженного энергопотребления);

MCLK – Master Clock (главное тактирование);

NMI – Non-Maskable Interrupt (немаскируемое прерывание);

PC – Program Counter (программный счетчик);

SFR – Special Function Register (регистр специального назначения);

SMCLK – Sub-System Master Clock (подсистема главного тактирования);

SP – Stack Pointer (указатель стека);

SR – Status Register (регистр статуса);

WDT – Watchdog Timer (сторожевой таймер)

ВВЕДЕНИЕ

Мотивация. Технологии зеленой ИТ-инженерии реализуются в промышленных системах, основанных на использовании микроконтроллеров, системах мониторинга и коммуникациях, базирующихся на сенсорных сетях и традиционных сетевых решениях.

В промышленных системах микроконтроллеры выполняют функции контроля и управления объектами различной природы. Такие объекты могут быть энергочувствительными или энергокритичными. В любом случае реализация режимов управления с минимизацией энергозатрат является важной практической задачей. При этом микроконтроллеры и микроконтроллерные системы сами являются объектами энергооптимизации в случае, когда они встраиваются в мобильные и/или автономные решения.

Для сенсорных сетей энергосбережение является одним из ключевых принципов, поскольку узлы таких систем работают, как правило, автономно и чувствительны к энергоемкости источников питания и к их обслуживанию, связанному с заменой или подзарядкой этих источников. Такие проблемы, в полной мере, касаются и систем мониторинга, построенных с использованием сенсорных сетевых технологий, в частности, систем мониторинга лесных ресурсов.

Не менее важны и интересны для теории и практики вопросы обеспечения энергоэффективности компьютерных сетей, которые могут толерировать задержки в передаче данных. В этом случае необходимо искать компромисс между энергетическими, надежностными и временными характеристиками.

Указанные направления могут быть объединены в одном блоке практических задач зеленой ИТ-инженерии. При этом современному инженеру и исследователю в области информационных технологий важно овладеть методиками и средствами, способными проводить измерение, анализ энергопотребления программно-аппаратных и сетевых решений, осуществлять разработку и конфигурирование энергоэффективных систем и сетей.

Цель и структура тренинг-курса. В пособии изложены материалы тренинг-курса LLL2 "Techniques and Tools for Green Industry Systems and Networks", разработанного для магистрантов, аспирантов и инженеров в рамках проекта TEMPUS «Green Computing & Communication» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Курс базируется на методических и инструментальных средствах, направленных на овладение практическими навыками разработки и исследования энергоэффективных микроконтроллерных систем, сенсорных сетей, а также сетей, толерантных к задержкам (Delay Tolerant Network). Курс состоит из четырех модулей, которым соответствуют разделы пособия.

Первый из них посвящен вопросам оценивания, анализа и управления энергопотреблением сенсорных сетей, в частности, их узлов. Тренинг этой части курса направлен на получение практических навыков использования соответствующих инструментальных средств, выбора настроек и т.д.

Во втором разделе освещены методики разработки систем мониторинга с использованием энергоэффективных сенсорных технологий. При этом описываются алгоритмы работы с реальными средствами проектирования таких систем.

Третий раздел базируется на практикумах, направленных на получение навыков расчета и выбора характеристик сетей, толерантных к задержкам.

В четвертом разделе описываются методики и средства, позволяющие минимизировать энергопотребление индустриальной микроконтроллерной системы управления и разработать зеленое программное обеспечение для такой системы.

Для всех модулей курса представлено описание лабораторных работ и тренингов, которые выполняются с использованием предлагаемых программно-аппаратных средств. К каждому занятию тренинг-курса даны контрольные вопросы и задания, представлен список рекомендуемой литературы.

В приложении приведена учебная программа курса.

Авторский коллектив. Пособие подготовлено сотрудниками и соискателями кафедры компьютерных систем и сетей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ" к.т.н., доцентом Плахтеевым А.П., м.н.с.

Плахтеевым П.А (раздел 1) и к.т.н., профессором Ореховым А.А. (раздел 2), а также к.т.н., доцентом Лукашенко В.В. (раздел 3) (Национальный авиационный университет, кафедра компьютерных систем и сетей). Раздел 4 подготовлен к.т.н., доцентами Шамраев А.А., Шамраева Е.О. (Белгородский государственный национальный исследовательский университет «НИУ БелГУ», кафедра информационных систем), к.т.н., доцентом Коваленко А.А. (НТЦ анализа и исследования безопасности инфраструктур, Научно-производственное предприятие "Радий"). Д.т.н., профессор Харченко В.С. (ХАИ) написал введение, принял участие в подготовке разделов 2,3, выполнил научное редактирование книги и разработал программу курса.

Благодарности. Авторы выражают благодарность рецензентам, коллегам по проекту, сотрудникам кафедр университетов, академических институтов и промышленных партнеров за ценную информацию, методическую помощь и конструктивные предложения, которые высказывались в процессе обсуждения программы курса и материалов пособия.

АНОТАЦІЯ

Зелені сенсорні мережі та мікроконтролерні системи. Методи і засоби дослідження і розробки Тренінг. / Коваленко А.А., Лукашенко В.В., Плахтєєв А.П., Плахтєєв П.А., Орехов О.О., Харченко В.С., Шамраєв А.А., Шамраєва О.О. / За ред. Харченка В.С. – Міністерство освіти і науки України, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е.Жуковського «ХАІ», Харків. – 2016. – 158 с.

Викладено матеріали тренінг-курсу LLL2 "Techniques and Tools for Green Industry Systems and Networks", розробленого в рамках проекту TEMPUS «Green Computing & Communication» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

Курс базується на методичних та інструментальних засобах, призначених для оволодіння практичними навичками розроблення та дослідження енергоефективних мікроконтролерних систем, сенсорних мереж, а також мереж, толерантних до затримок (Delay Tolerant Network). Надано опис лабораторних робіт і тренінгів, які виконуються з використанням спеціальних програмно-апаратних засобів.

Для інженерів, які займаються розробленням та впровадженням енергоефективних мікропроцесорних систем і сенсорних та глобальних мереж, магістрів і аспірантів університетів, які навчаються за напрямками комп'ютерних наук, комп'ютерної та програмної інженерії, при вивченні та дослідженні методів і засобів зеленої ІТ-інженерії.

Библ. – 50 найменованих, рисунков – 64, таблиць – 20.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	3
ВСТУП.....	4
1. УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ ВУЗЛІВ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ	7
1.1 Способи зниження енергоспоживання для мікроконтролерів вузлів сенсорних мереж	8
1.2 Управління енергоспоживанням 8-розрядних мікроконтролерів AVR серії ATmega	8
1.3 Налагоджувальна плата для мікроконтролера ATmega328P... 13	
1.4 Управління тактовою частотою 32-розрядного ARM мікроконтролера LPC2134	15
1.5 Управління енергозбереженням LPC2134	18
1.6 Налагоджувальні засоби для контролера LPC2134 NXP	19
Контрольні питання і завдання	23
Література	24
2. РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЛІСНИХ РЕСУРСІВ.	25
2.1 Застосування сенсорних мереж у системах моніторингу	26
2.2 Проектування енергоефективної сенсорної мережі	27
2.3 Проектування інфраструктури сенсорної мережі за допомогою інструментального засобу «Test Polygon».....	35
Контрольні питання і завдання	45
Література	46
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ З ТОЛЕРАНТНІСТЮ ДО ЗАТРИМОК.....	49
3.1 Розрахунок інформаційного і енергетичного ресурсу мереж с толерантністю до затримок.....	49
3.2. Тенденції розвитку інформаційно-комунікаційних і комп'ютерних мереж з толерантністю до затримок і обмежень енергоресурсу	80
Контрольні питання і завдання	82
Література	83

4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ІНДУСТРІАЛЬНИХ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ СИСТЕМ.....	85
4.1 Апаратна платформа для розробки програмного забезпечення на базі мікроконтролера MSP430F1611.....	86
4.2 Вивчення принципів програмного управління обміном даними по послідовному інтерфейсу I2C в енергоефективних мікроконтролерних системах	89
4.3. Розробка програмного забезпечення для систем збору та обробки інформації на базі зелених мікроконтролерів.....	105
4.4 Методологія розробки програмного забезпечення для автономних і вбудованих енергоефективних систем.....	122
Контрольні питання і завдання	125
Література	126
АНОТАЦІЯ	127
ABSTRACT	130
CONTENT	131
ДОДАТОК А	
Стенд и програма для дослідження режимів енергозбереження мікроконтролера ATmega328 в Arduino Mini - Blink_Mini_sleep_Serial.ino	133
ДОДАТОК Б	
Стенд и програма для дослідження управління тактовою частотою мікроконтролера LPC2134.....	138
ДОДАТОК В. НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА.....	142

ABSTRACT

Green sensor networks and microcontroller systems. Methods and means research and development. Training. / Kovalenko A.A., Lukashenko V.V., Plakhteev A.P., Plakhteev P.A., Orekhov A.A., Kharchenko V.S., Shamraev A.A., Shamraeva O.O. / Kharchenko V. (edit.). – Department of Education and Science of Ukraine, National Aerospace University named after N. Zhukovsky “KhAI”, Kharkiv. – 2016. – 158p.

Practical materials of study training course LLL2 "Techniques and Tools for Green Industry Systems and Networks" are expounded in this training textbook prepared for PhD-students within the framework of project TEMPUS-GREENCO «Green Computing & Communications» (530270-TEMPUS-1-2012-1-UK-TEMPUS-JPCR).

The course focuses on the getting of skills on practical application of techniques and tools to develop and implement energy-efficient sensor networks, monitoring and industrial microcontroller systems, and so-called delay tolerant networks, and learning of algorithms and technologies of calculation and choice of characteristics for such systems and networks. Course curriculum, description of seminars, practical trainings and methodical recommendations for self-sufficient study are given.

The book is intended for engineers developing and implementing energy-efficient networks and microcontroller systems, master and PhD students learning computer sciences, computer and software engineering, and techniques and tools of green IT engineering.

Ref. – 50 items, figures – 61, tables – 20.

CONTENT

INTRODUCTION	4
1 SENSOR NODE NETWORK POWER CONSUMPTION MANAGEMENT	7
1.1 Means power consumption decreasing for microcontroller nodes of sensor networks	8
1.2 Power consumption management of 8-bit microcontrollers AVR family ATmega	8
1.3 Toolkit for microcontroller ATmega328P	13
1.4 Clocking management of 32-bit ARM microcontroller LPC2134	15
1.5 Power consumption management LPC2134	18
1.6 Toolkit for microcontroller LPC2134 NXP	19
Questions and tests	23
References	24
2 DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT SENSOR NETWORKS FOR FOREST MONITORING SYSTEMS	25
2.1 Application of sensor networks in monitoring systems	26
2.2 Development technique of energy efficient sensor network	27
2.3 Development of sensor network for forest monitoring systems using tool «Test Polygon»	35
Questions and tests	45
References	46
3 RESEARCH OF DELAY TOLERANT NETWORKS ENERGY EFFICIENCY	49
3.1 Calculation of information and energy resources for delay tolerant networks	49
3.2 Tendencies of information and computer networks tolerating delays and energy limitations	80
Questions and tests	82
References	83
4 DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR INDUSTRIAL ENERGY EFFICIENT MICROCONTROLLER SYSTEMS	85

4.1 Microcontroller MSP430F1611 based platforms for green software development	86
4.2 Principles of data transmission program control on application of interface I2C in energy efficient microcontroller systems	89
4.3. Software development for green microcontroller systems of data collection and processing	105
4.4 Technique of software development for autonomous and embedded energy efficient microcontroller systems	122
Questions and tests	125
References	126
ABSTRACT	130
CONTENT	131
APPENDIX A	
Toolkit and program of power saving modes research for microcontroller ATmega328 in Arduino Mini	133
APPENDIX B	
Toolkit and program of clocking management research for microcontroller LPC2134	138
APPENDIX C. TECHING PROGRAM	142

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Стенд и программа для исследования режимов энергосбережения микроконтроллера ATmega328 в Arduino Mini - Blink_Mini_sleep_Serial.ino

В составе стенда (рис. ПА.1а) микроконтроллер связан с светодиодами D1(вывод D13) и D2(вывод ШИМ D5), кнопкой пробуждения WAKEUP (вывод прерыванияD3/ INT1), переключкой разрешения перехода в режим сна ENINT1(вывод D4) а выход передатчика UART (D1/TXD) связан с входом терминала, отображающего передаваемые микроконтроллером сообщения (рис. ПА.1 б).

В активном режиме (RUN MODE) микроконтроллер каждые 500 мс изменяет параметр ШИМ на выходе D5 и яркость свечения светодиода D2, переключает состояние светодиода D1 сигналом на выходе D13 и отправляет по асинхронному интерфейсу (D1/TXD)сообщения о текущем состоянии. Через два полных цикла изменения ШИМ 1..128 микроконтроллер переходит в заданный режим сна (SLEEP MODE), если разомкнута переключка разрешения перехода в режим сна ENINT1(на выводе D4 «1»). Если на выводе D4 «0» перехода в режим сна не происходит, а продолжаютя циклы управления нагрузками. Выход из режима сна происходит при поступлении уровня «0» сигнала прерывания от кнопки WAKEUP или при сбросе микроконтроллера (цепь сброса RESET/PC6 на схеме не показана).

разработки Arduino. Программа может использоваться в 6 вариантах в зависимости от выбранного режима сна микроконтроллера:

```
set_sleep_mode(SLEEP_MODE_XXX);
```

В программе используются библиотеки `avr/interrupt.h`, `avr/power.h` и `avr/sleep.h`, которые размещаются в папке: `path_to_arduino\arduino-xxx\hardware\tools\avr\avr\include\avr\`.

```
/*
```

```
    Blink
```

Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.

This example code is in the public domain.

```
*/
```

```
#include <avr/interrupt.h>
```

```
#include <avr/power.h>
```

```
#include <avr/sleep.h>
```

```
#include <avr/io.h>
```

```
// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
```

```
// give it a name:
```

```
int led = 13;
```

```
int ext1 = 3; // для INT1
```

```
int pwm = 5;
```

```
int En_ext1 = 4;
```

```
int val = 1, count=0;
```

```
// the setup routine runs once when you press reset:
```

```
void setup() {
```

```
    // initialize the digital pin as an output.
```

```
    pinMode(led, OUTPUT);
```

```
    pinMode(1,OUTPUT);
```

```
    pinMode(En_ext1,INPUT);
```

```
    digitalWrite(En_ext1, HIGH);
```

```
    digitalWrite(1, HIGH);
```

```
    pinMode(pwm, OUTPUT);
```

```
    digitalWrite(ext1, HIGH); //для работы INT1 подтягиваем к
```

```
"1"
```

```

Serial.begin(9600);
Serial.println("RUN mode");
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the
voltage level)
  analogWrite(pwm,val);
  Serial.print(count);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(val);
  val = val<<1;
  if(val>255) val=1;
  delay(500); // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW); // turn the LED off by making the
voltage LOW
  delay(500); // wait for a second
  count++;
  if(digitalRead(En_ext1)==1) {
    if(count>15){ //после 16 циклов переход в сон
      count=0;
      digitalWrite(led,LOW); // led=0 - off
      digitalWrite(pwm,LOW ); // PWM -off
      Serial.println("SLEEP mode");
      delay(100);
      sleepNow(); // переход в сон
      Serial.println("RUN mode");
    }
  }
}

//
void sleepNow(void)
{
  // Set pin 2 as interrupt and attach handler:
  attachInterrupt(1, pinInterrupt, LOW);
  //
  // Choose our preferred sleep mode:

```

```

//set_sleep_mode(SLEEP_MODE_IDLE); //least power
savings
//set_sleep_mode(SLEEP_MODE_ADC);
//set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_SAVE);
//set_sleep_mode(SLEEP_MODE_STANDBY);
set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN); //most
power savings
//set_sleep_mode(SLEEP_MODE_EXT_STANDBY);
//
sleep_enable(); //разрешение режима сна
//
// Put the device to sleep:
sleep_mode(); //сон с пробуждением по INT1=ext1=0
//
// Upon waking up, sketch continues from this point.
sleep_disable(); // запрет режима сна
}

void pinInterrupt(void)
{
detachInterrupt(1); //запрет прерывания на 16 циклов
переключения LED
}

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Стенд и программа для исследования управления тактовой частотой микроконтроллера LPC2134

Наряду с физическим стендом - отладочной платой для контроллера LPC2134, можно использовать пример из Proteus 8.3 (LPC2138 Playing Music) в качестве виртуального стенда (рис. ПБ.1а). Для этого необходимо связать модель микроконтроллера с загрузочным файлом программы приведенной ниже (рис. ПБ.1б).

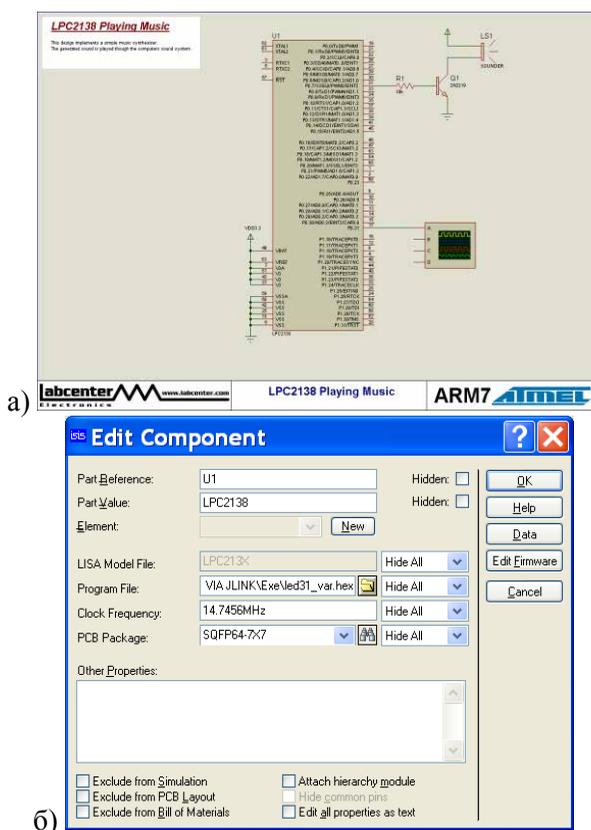


Рис. ПБ.1. Виртуальный стенд (а) и настройка микроконтроллера (б)

Этот файл имеет расширение *.hex и генерируется компилятором. Необходимо также указать частоту синхронизации микроконтроллера – 14.7456 МГц.

На выходе P0.31 формируется меандр, период которого составляет фиксированное число тактов. Через 10 импульсов частота изменяется и, соответственно, изменяется частота меандра (рис. ПБ.2). Выход P0.31 в отладочной плате связан с пользовательским светодиодом, что позволяет наблюдать изменение частоты и получить осциллограммы.

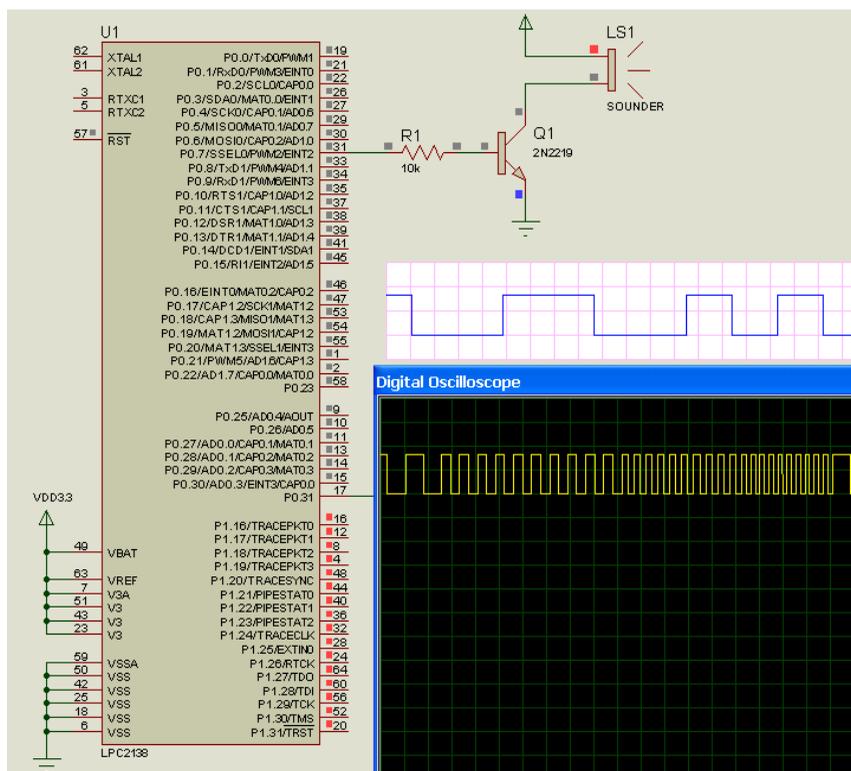


Рис. ПБ.2 Моделирование управления тактовой частотой микроконтроллера со скоростью горизонтальной развертки 5 мс/дел и фрагмент для детального анализа с 1 мс/дел.

Сигнал с P0.31 дублируется на P0.7, к которому в виртуальном стенде подключен излучатель. Это позволяет в виртуальном стенде получить изменение частоты звука при перестройке тактовой частоты микроконтроллера.

Приведенная ниже программа не требует вспомогательных библиотечных файлов, а использует стандартные средства IAR Embedded Workbench ARM с рабочим пространством по умолчанию. В память микроконтроллера загружается файл *.hex.

```

... \IAR_ARM_630\arm\examples\NXP\LPC213x\IAR-P213x

/*-----*/
#include <iolpc2134.h>
#define PLOCK 0x0400

void CPU_F(void);
unsigned int MSEL_val=0,PSEL_val=3,i,PLL_val=0;
long int del;

int main (void)
{
    PLLCFG_bit.MSEL=0; PLLCFG_bit.PSEL=3; //14,745
CPU_F(0,5);
    CPU_F();
    VPBDIV_bit.VPBDIV=1; //0 = cclk/4; 1 = cclk/1; 2 = cclk/2;
    IO0DIR=0x80000080; // P0.31 - output
    while (1) // Цикл
    {
        for(i=20;i>0;i--) //20 импульсов одной частоты
        {
            IO0SET_bit.P0_31=1; // LED_OFF; P0.31=1
            IO0SET_bit.P0_7=1; // BUZ_OFF; P0.7=1
            del=1000; while (--del!=0);
            IO0CLR_bit.P0_31=1; // LED_ON; P0.31=0
            IO0CLR_bit.P0_7=1; // BUZ_ON; P0.7=0
            del=1000; while (--del!=0);
        }
    }
}

```

```

switch (PLL_val) // изменение MSEL, PSEL
{
    case 0: PLLCFG_bit.MSEL=0; PLLCFG_bit.PSEL=3;
break; //14,745 CPU_F(0,3);
    case 1: PLLCFG_bit.MSEL=1; PLLCFG_bit.PSEL=2;
break; //29,491 CPU_F(1,2);
    case 2: PLLCFG_bit.MSEL=2; PLLCFG_bit.PSEL=1;
break; //44,237 CPU_F(2,1);
    case 3: PLLCFG_bit.MSEL=3; PLLCFG_bit.PSEL=1;
break; //58,982 CPU_F(3,1);
    default: PLLCFG_bit.MSEL=0; PLLCFG_bit.PSEL=3;
        PLL_val=0; break;
        //14,745 CPU_F(0,3);
} //switch
CPU_F(); // Установка частоты
PLL_val++;
} //while
}

void CPU_F(void) // Функция установки частоты
{
    PLLCON_bit.PLLE=1; // Enable the PLL
    PLLFEED=0xAA;
    PLLFEED=0x55;
    while(!(PLLSTAT & PLOCK)); // Wait for PLL to lock
    PLLCON_bit.PLLC=1; // Enable out PLL
    PLLFEED=0xAA;
    PLLFEED=0x55;
}

```

**ПРИЛОЖЕНИЕ В. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА
DESCRIPTION OF THE COURSE**

TITLE OF THE COURSE	Code
LLL2. Techniques and Tools for Green Industry Systems and Networks	

Teacher(s)	Department
Coordinating: Prof. Kharchenko V. S. Others: Dr. Kovalenko A.A., Dr Lukashenko V.V., Dr Plakhteev A.P., Plakhteev P.A., Prof Orekhov A.A., Dr Shamraev A.A., Dr Shamraeva E.O.	Computer Systems and Networks, National Aerospace University KhAI

Study cycle	Level of the module	Type of the module
Engineer	A	Full-time tuition

Form of delivery	Duration	Language(s)
Full-time tuition	One semester	English

Prerequisites	
Prerequisites: Computer Systems and System Analysis; Advanced Processor and Microcontroller Architectures, Sensor and Global Networks, Probability Theory and Theory of Experiments. Skills in Hardware Designing, Computer Software for Modeling.	Co-requisites (if necessary): no

Credits of the module	Total student workload	Contact hours	Individual work hours
3	120	54	66

Aim of the module (course unit): competences foreseen by the study programme
The aim of course is, firstly, to get skills on practical application of techniques and tools to develop and implement energy-efficient sensor

<p>networks, monitoring and industrial microcontroller systems, and so-called delay tolerant networks, and secondly, to study algorithms and technologies of calculation and choice of characteristics for such systems and networks.</p>		
<p>Learning outcomes of module (course unit)</p>	<p>Teaching/learning methods</p>	<p>Assessment methods</p>
<p>At the end of course, the successful student will be able: 1) to make decisions related to power consumption management and decreasing for sensor network microcontroller nodes; to apply techniques and tools to develop and implement energy-efficient sensor networks for different domains;</p>	<p>Interactive lectures, Trainings, Just-in-Time Teaching</p>	<p>Module Evaluation Questionnaire</p>
<p>2) to apply techniques and tools to develop and implement energy-efficient sensor networks for different domains;</p>	<p>Interactive lectures, Trainings, Just-in-Time Teaching</p>	<p>Module Evaluation Questionnaire</p>
<p>3) to calculate and research performance and energy consumption characteristics for delay tolerant networks;</p>	<p>Interactive lectures, Training and seminars, Just-in-Time Teaching</p>	<p>Module Evaluation Questionnaire</p>
<p>4) to develop and implement software for green industrial microcontroller systems.</p>	<p>Interactive lectures, Trainings and seminars, Just-in-Time Teaching</p>	<p>Module Evaluation Questionnaire</p>

Themes	Contact work hours						Time and tasks for individual work	
	Lectures	Consultations	Seminars	Practical work	Laboratory work	Placements	Total contact work	Individual work
<p>1 Sensor Node Network Power Consumption Management</p> <p>1.1 Means power consumption decreasing for microcontroller nodes of sensor networks</p> <p>1.2 Power consumption management of 8-bit microcontrollers AVR family ATmega</p> <p>1.3 Toolkit for microcontroller ATmega328P</p> <p>1.4 Clocking management of 32-bit ARM microcontroller LPC2134</p> <p>1.5 Power consumption management LPC2134</p>	4			8			12	1.6 Toolkit for microcontroller LPC2134 NXP
<p>2. Development of Energy Efficient Sensor Networks for Monitoring Systems</p> <p>2.1 Application of sensor networks in monitoring systems</p>	4			8			12	2.4. Techniques, algorithms of energy

<p>2.2. Development technique of energy efficient sensor networks for forest monitoring system 2.3 Development of sensor network using tool «Test Polygon»</p>								<p>efficient coverage by sensors for monitoring system</p>	
<p>3. Research of Delay Tolerant Networks Energy Efficiency 3.1. Technology of delay tolerant networks 3.2. Calculation of information and energy resources characteristics for delay tolerant networks 3.3 Modeling of delay tolerant networks</p>	4		2		4		10	8	<p>3.4. Tendencies of development of networks tolerating delays and energy limitations</p>
<p>4. Development of Software for Industrial Energy Efficient Microcontroller Systems 4.1 Microcontroller MSP430F1611 based platforms for green software development 4.2 Principles of data transmission program control on application of interface I2C in energy efficient microcontroller systems 4.3. Software development</p>	4		2		6		12	12	<p>4.5. Techniques for selection of setting for green MC software development</p>

for green microcontroller systems of data collection and processing 4.4 Technique of software development for autonomous and embedded energy efficient microcontroller systems									
Total	16	4	26	46	44				

Assessment strategy	Weight in %	Dead lines	Assessment criteria
Lecture activity, including fulfilling special self-tasks	10	7,14	<p>85% – 100% Outstanding work, showing a full grasp of all the questions answered.</p> <p>70% – 84% Perfect or near perfect answers to a high proportion of the questions answered. There should be a thorough understanding and appreciation of the material.</p> <p>60% – 69% A very good knowledge of much of the important material, possibly excellent in places, but with a limited account of some significant topics.</p> <p>50% – 59% There should be a good grasp of several important topics, but with only a limited understanding or ability in places. There may be significant omissions.</p>

			<p>45% – 49% Students will show some relevant knowledge of some of the issues involved, but with a good grasp of only a minority of the material. Some topics may be answered well, but others will be either omitted or incorrect.</p> <p>40% – 44% There should be some work of some merit. There may be a few topics answered partly or there may be scattered or perfunctory knowledge across a larger range.</p> <p>20% – 39% There should be substantial deficiencies, or no answers, across large parts of the topics set, but with a little relevant and correct material in places.</p> <p>0% – 19% Very little or nothing that is correct and relevant.</p>
Training, seminars, practicum	30	7,14	<p>85% – 100% An outstanding piece of work, superbly organised and presented, excellent achievement of the objectives and evidences.</p> <p>70% – 84% Students will show a thorough understanding and appreciation of the material, producing work without significant error or omission. Objectives achieved well. Excellent organisation and presentation.</p> <p>60% – 69% Students will show a clear understanding of the issues involved and the work should be well written and well organised.</p>

			<p>Good work towards the objectives.</p> <p>The exercise should show evidence that the student has thought about the topic and has not simply reproduced standard solutions or arguments.</p> <p>50% – 59% The work should show evidence that the student has a reasonable understanding of the basic material. There may be some signs of weakness, but overall the grasp of the topic should be sound. The presentation and organisation should be reasonably clear, and the objectives should at least be partially achieved.</p> <p>45% – 49% Students will show some appreciation of the issues involved. The exercise will indicate a basic understanding of the topic, but will not have gone beyond this, and there may well be signs of confusion about more complex material. There should be fair work towards the laboratory work objectives.</p> <p>40% – 44% There should be some work towards the laboratory work objectives, but significant issues are likely to be neglected, and there will be little or no appreciation of the complexity of the problem.</p> <p>20% – 39% The work may contain some correct and relevant material, but most issues are neglected or are covered incorrectly. There should be some signs of appreciation of the</p>
--	--	--	---

			laboratory work requirements. 0% – 19% Very little or nothing that is correct and relevant and no real appreciation of the laboratory work requirements.
Module Evaluation Quest	60	8,16	The score corresponds to the percentage of correct answers to the test questions.

Author	Year of issue	Title	No of periodical or volume	Place of printing. Printing house or internet link
Compulsory literature				
Ed. by V. Kharchenko	2014	Green IT-Engineering. Volume 1. Principles, models, HW&SW		National Aerospace University “KhAI”
Ed. by V. Kharchenko	2015	Green IT-Engineering. Volume 2. Systems, Industry, SocietyPrinciples, models, HW&SW		National Aerospace University “KhAI”
Ed. by S.Murugesan, G.Gangadharan	2012	Harnessing Green IT: Principles and Practices		J. Wiley and Sons Ltd
	2010	STMicroelectronics STM8L family power management	AN3147	http://www.bdtic.com/Download/ST/AN3147.pdf
P. Greenhalgh	2011	big.LITTLE Processing with ARM Cortex-A15 & Cortex-A7	White paper ARM,	http://www.arm.com/files/downloads/big_LITTLE_Final_Final.pdf .
	2014	AVR4013: picoPower Basics		http://www.atmel.com/images/doc8349.pdf

Приложение В. Учебная программа

А.В. Евстифеев	2004	Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы Atmel		М: Додэка-XXI.-2004.- 560с.
		Atmel 8-bit microcontroller with 4/8/16/32Kbytes in-system programmable Flash		http://www.atmel.com/images/atmel-8271-8-bit-avr-microcontroller-atmega48a-48pa-88a-88pa-168a-168pa-328-328p_datasheet_complete.pdf
Тревор Мартин	2006	Микроконтроллеры ARM7. Семейство LPC2000 компании Philips. Вводный курс		М: Додэка-XXI.-2006.- 240с.
	2012	UM10120. LPC2131/2/4/6/8 User manual. Rev.4-23		www.nxp.com/documents/user_manual/UM10120.pdf
				http://olimex.com/dev/soft/arm/LPC/lpc-h2138-blink_led.zip
	2015	Amirthavarshini L.J et al. Wireless Sensor Networks in Green Cloud Computing	International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol.6, Issue 10, Oct 2015	http://www.ijser.org/researchpaper%5CWireless-Sensor-Networks-in-Green-Cloud-Computing.pdf
	2009	Smart Sensor Networks Technologies and Applications for Green Growth	OECD	http://www.oecd.org/sti/44379113.pdf
Ed. by V. Kharchenko	2011	Critical Infrastructure Safety: Mathematical and Engineering Methods of Assessment and Assurance		National Aerospace University “KhAI”

Астраков С.Н.	2009	Сенсорные сети и покрытие плоскости кругами	Дискретный анализ и исследование операций Том 16, № 3. С. 3–19.	
Snehal A.Jadhav et al		Wireless Sensor Network Based Monitoring System for Forest	International Journal on Recent and Innovation Trends ..., Vol.3, Is.3	http://www.ijritcc.org/download/1428990984.pdf
P.S. Jadhav et. al.	2012	Forest Fire Monitoring System Based On ZIG-BEE Wireless Sensor Network	International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol.2, Is.12	
Leila Maleki	2013	Using Wireless Sensor Networks for Detection Reliable Forest Fires	Elsevier, 26, 2013	http://www.slideshare.net/Leila_maleke/using-wireless-sensor-networks-for-reliable-forest-fires
M. Hefeeda, M. Bagheri	2009	Forest Fire Modeling and Early Detection		Adhoc & Sensor Wireless Networks, 2009. -Vol.7, No.3/4, p.169-224,
Junguo ZHANG, Wenbin LI, Ning HAN, Jiangming KAN	2008	Forest fire detection system based on a ZigBee wireless sensor network.	- Higher Education Press and Springer-Verlag, 2008	http://eps2009.dj-inod.com/docs/09-04-23/Forest_fire_detection_system_based_on_a_ZigBee_wireless_sensor_network.pdf
M.A. Serna et al	2015	Distributed Forest Fire Monitoring Using Wireless Sensor Networks	International Journal of Distributed Sensor Networks, Volume 2015	http://www.hindawi.com/journals/ijdsn/2015/964564/
Andrew S. Tanenbaum, Maarten van Steen	2007	Distributed systems: principles and paradigms		Pearson Prentice Hall, 2007. - 686 p.

Приложение В. Учебная программа

Tanenbaum A.S.	2011	Computer Networks, 5 th Ed		Prentice Hall, Cloth, 2011. – 960p.
J.J.P.C. Rodrigues (Ed.)	2015	Advances in Delay- Tolerant Networks (DTNs): Architecture and Enhanced Performance		Elsevier, Cambridge, 2015. – 298 p.
Jae H. Kim and Myung J. Lee (Eds.)	2011	Green IT: Technologies and Applications		Springer, Berlin, 2011. - 443 p.
Mohammad Obaidat, Alagan Anpalagan, Isaac Woungang (Eds.)	2013	Handbook of Green Information and Communication Systems, 1st Edition.		Elsevier /Academic Press, Amsterdam, Boston, 2013. – 816p.
F. Richard Yu, Xi Zhang, Victor C.M. Leung.	2012	Green Communications and Networking		CRC Press, 2012. - 399p.
L. Bononi et al. (Eds.)	2012	Impact of Persistent Storage on the DTN Routing Performance		Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012 - P.513–524.
	2004	Семейство микроконтроллеров MSP430х1хх. Руководство пользователя		М.: Серия «Библиотека Компэла». ЗАО «Компэл», 2004. – 368с.
	2005	Семейство микроконтроллеров MSP430. Рекомендации по применению		М.: Серия «Библиотека Компэла». ЗАО «Компэл», 2005. – 544с.
	2005	Семейство микроконтроллеров MSP430х4хх. Руководство пользователя		М.: Серия «Библиотека Компэла». ЗАО «Компэл», 2005. – 416с.
	2007	MSP 430 IAR C/C++ Compiler Reference Guide		ew430_compilerreferen ce.pdf.
Шпак Ю.А.	2006	Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров		К.: МК-Прес, 2006. – 400с.

	2015	Семейство микроконтроллеров MSP430x2xx. Архитектура, программирование, разработка приложений		М.: ДМК Пресс, Додэка XXI, 2015. – 544с
Джексон Р.Г.	2007	Новейшие датчики		М.: Техносфера, 2007. – 384с.
	2012	Smart Autonomous 32-bit Microcontroller Peripherals Push the Boundaries of Ultra-Low-Power Embedded System Design		Silicon Labs, 2012 http://www.silabs.com/Supprot%20Documents/TechnicalDocs/low-power-32-bit-microcontroller-dtm.pdf
	2013	PicoPower Technology		http://www.atmel.com/technologies/lowpower/picopower.aspx
Additional literature				
L. A. Barroso U. Hölzle	2007	The case for energy-proportional computing	Computer - Vol.40,Dec., pp. 33 – 37	
C. Arun, K. Lakshmi Sudha	2012	Agricultural Management using Wireless Sensor Networks - A Survey	2nd International Conference IPCBEE Vol.48	www.ipcbee.com/vol48/015-ICESB2012-B20011.pdf
Zahra Rezaei, Shima Mobinejad	2012	Energy Saving in Wireless Sensor Networks	International Journal of Computer Science & Engineering Survey, Vol. 3, No.1,	http://www.airccse.org/journal/ijcses/papers/0212ijcses03
M.A. Serma, A. Bermudez, R. Casado	2013	Circle-based approximation to forest fires with distributed wireless sensor networks // Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking	Proceedings of the IEEE Conference (WCNC'13), P. 4329-4334.	

M.A. Serna, A. Bermudez, R. Casado	2013	Hull-based approximation to forest fires with distributed wireless sensor networks	Proc. of the IEEE 8th International Conference (ISSNIP '13), P.265–270.	
S.-W. Hong, S.-K. Noh, E. Lee, S. Park, S.-H. Kim	2010	Energy-efficient predictive tracking for continuous objects in wireless sensor networks	Proc. of the IEEE 21st Int. Symposium (PIMRC '10), pp. 1725–1730, IEEE, Istanbul, Turkey	
Cao Y., Cruickshank H., Sun Z. / G. Giambene and C. Sacchi (Eds.)	2011	Asymmetric Spray and Multi-forwarding for Delay Tolerant Networks		Institute for Computer Sciences.. - 2011 - P.199–212.
Yu Y., Chen X.	2013	Research on Custody Transfer Service in Delay Tolerant Network	Journal of networks, Vol. 8, №8, Aug.2013. – P.1713-1719.	
		An energy efficient microcontroller based digital solar weighing machine		http://www.academia.edu/3784688/an_energy_efficient_microcontroller_based_digital_solar_weighing_machine
		Energy Efficient Embedded Microcontroller		http://www.cortus.com/MOSIS_APS3_Datasheet.pdf

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ УЗЛОВ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ	7
1.1 Способы снижения энергопотребления для микроконтроллеров узлов сенсорных сетей	8
1.2 Управление энергопотреблением 8-разрядных микроконтроллеров AVR серии ATmega	8
1.3 Отладочная плата для микроконтроллера ATmega328P	13
1.4 Управление тактовой частотой 32-разрядного ARM микроконтроллера LPC2134	15
1.5 Управление энергосбережением LPC2134	18
1.6 Отладочные средства для контроллера LPC2134 NXP	19
Контрольные вопросы и задания	23
Литература	24
2. РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ	25
2.1 Применение сенсорных сетей в системах мониторинга	26
2.2 Проектирование энергоэффективной сенсорной сети	27
2.2.1 Выбор сетевой технологии	27
2.2.2 Выбор сетевой топологии	30
2.2.3 Выбор сетевого оборудования	32
2.3 Проектирование инфраструктуры сенсорной сети с помощью инструментального средства «Test Polygon»	35
2.3.1 Инструментальное средство «Test Polygon»	35
2.3.2 Задание области исследуемой территории главным многоугольником	37

2.3.3 Выделение запретной зоны в участке главного многоугольника	38
2.3.4 Покрытие результирующей области датчиками.....	38
2.3.5 Анализ полученных данных	43
Контрольные вопросы и задания	45
Литература	46
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ С ТОЛЕРАНТНОСТЬЮ К ЗАДЕРЖКАМ	49
3.1 Расчет информационного и энергетического ресурса сетей с толерантностью к задержкам	49
3.1.1 Архитектура и протоколы сетей с толерантностью к задержкам.....	50
3.1.2 Расчет дальности радиосвязи	56
3.1.3 Методика расчета дальности радиосвязи.....	61
3.1.4 Программа разработок и исследований.....	66
Контрольные вопросы.....	79
3.2. Тенденции развития информационно-коммуникационных и компьютерных сетей с толерантностью к задержкам и ограничениями энергоресурса.....	80
Контрольные вопросы и задания	82
Литература	83
4. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ СИСТЕМ	85
4.1 Аппаратная платформа для разработки программного обеспечения на базе микроконтроллера MSP430F1611	86
4.2 Изучение принципов программного управления обменом данными по последовательному интерфейсу I2C в энергоэффективных микроконтроллерных системах	89
4.2.1 Система тактирования.....	90
4.2.2 Режимы пониженного энергопотребления	91

4.2.3 Обработка прерываний	91
4.2.4 Интеллектуальные периферийные модули	92
4.2.5 Конфигурация последовательного интерфейса для работы в режиме I2C	93
4.2.6 Конфигурирование USART для функционирования I2C	95
4.2.7 Прерывания I2C	95
4.2.8 Описание лабораторной установки	96
4.2.9 Программа исследований	101
Контрольные вопросы и задания	104
4.3. Разработка программного обеспечения для систем сбора и обработки информации на базе зеленых микроконтроллеров	105
4.3.1 Двенадцатиразрядный АЦП12	106
4.3.2 Лабораторная установка и обработка результатов	111
4.3.3 Программа исследований	119
Контрольные вопросы и задания	121
4.4 Методология разработки программного обеспечения для автономных и встраиваемых энергоэффективных систем	122
Контрольные вопросы и задания	1245
Литература	125
АНОТАЦІЯ	127
ЗМІСТ	128
ABSTRACT	130
CONTENT	131
ПРИЛОЖЕНИЕ А	
Стенд и программа для исследования режимов энергосбережения микроконтроллера ATmega328 в Arduino Mini - Blink_Mini_sleep_Serial.ino	133
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	
Стенд и программа для исследования управления тактовой частотой микроконтроллера LPC2134	138
ПРИЛОЖЕНИЕ В. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА	
	142

Для заметок

**Коваленко Андрій Анатолійович
Лукашенко Вікторія Вікторівна
Плахтєєв Анатолій Павлович
Плахтєєв Павло Анатолійович
Орехов Олександр Олександрович
Харченко Вячеслав Сергійович
Шамрасв Анатолій Анатолійович
Шамрасва Олена Олегівна**

**ЗЕЛЕНІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ ТА
МІКРОКОНТРОЛЕРНІ СИСТЕМИ. МЕТОДИ Й
ЗАСОБИ ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКИ**

Тренінг
(російською мовою)

Редактор Харченко В.С.

Комп'ютерна верстка
Харченко Л.Д.

Зв. план, 2016

Підписаний до друку 03.06.2016

Формат 60x84 1/16. Папір офс. №2. Офс. друк.

Умов. друк. арк. 9,18. Уч.-вид. л. 8,75. Наклад 200 прим.

Замовлення 56. Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Віддруковано ФОП Лисенко І. Б.

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17, моторний корпус, к. 147

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи в державний реєстр
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції

ДК №2607 от 11.09.06 р.